

文章编号: 1674-9057(2013)03-0449-05

doi:10.3969/j.issn.1674-9057.2013.03.010

汤水寨温泉带状热储特征及其热储量评价

廖海吉^{1,2}, 蓝俊康¹, 洪淑娜¹, 闫志为¹, 黄希明²

(1. 桂林理工大学 a. 广西矿冶与环境科学实验中心; b. 环境科学与工程学院, 广西 桂林 541004;

2. 广西地质环境监测总站, 广西 桂林 541001)

摘要: 汤水寨地热田出露处为大面积分布的花岗岩, 且其深部的岩体完整, 岩体渗透性差, 故判断其为带状热储。据泉水及其附近雨水的氡含量检测, 该泉水是由大气降雨所补给, 泉水在地下的循环时间至少在10年以上。鉴于该带状热储层的体积较小, 储水量及其热储量均十分有限, 建议对其只进行小规模开发利用, 仅利用其自流量作保健饮用或保健洗浴用水。

关键词: 温泉; 热储量; 评价; 汤水寨; 贺州; 广西

中图分类号: P314.1

文献标志码: A

汤水寨温泉位于广西贺州市八步区里松镇文用山脚下。在区域构造上, 隶属于华南加里东褶皱系中的大瑶山隆起的北东部。在漫长的地史时期中, 本区曾经历加里东期、印支期、燕山期等多期构造运动, 其中加里东运动以褶皱构造为主, 断裂次之, 并伴随着花岗闪长岩岩基的侵入; 而燕山期运动主要以强烈的断块升降运动和轻微的褶皱运动为主, 也伴随着大量的酸性岩浆岩侵入。

温泉出露处三面环山, 5眼泉水自溪旁上涌, 其热储分布呈带状。受构造断裂控制, 地热田规模较小, 地面有多处温泉出露, 按《地热资源地质勘查规范》(GB 11615—2008), 可将本地热田勘查类型划分为Ⅱ₂型, 地热类型为中低温地热田。

汤水寨泉水无色透明, 无臭、无味, 无悬浮物, 水温 50.3 ~ 63 °C, 泉水总流量为 879.07 ~ 1 540.443 m³/d。泉水含有偏硅酸 (H₂SiO₃)、氟 (F)、硫化氢 (H₂S)、氡 (Rn) 等特殊组分以及其他对人体有益的微量元素。泉水中的有害组分、微生物和放射性指标均低于国家标准《饮用天然矿泉水》(GB 8537—2008); 其总溶解固体 139.6

~182.0 mg/L, 总硬度为 8.86 ~ 21.4 mg/L, 属低矿化度、低硬度的偏碱性 HCO₃-Na 型天然矿泉水, 适宜开发作为医疗洗浴水及医疗饮用矿泉水, 对特定人群 (冠心病、骨骼生长不良、蛀牙患者) 具有保健治疗效果。

为进一步促进当地经济和旅游业的发展, 各级政府拟对里松汤水寨温泉进行综合开发。为合理地开发和保护好这一珍贵的绿色能源, 开发前需要对该地热田的地热资源进行详查, 研究该地热田的地热地质条件 (包括热储、控热导热构造等) 特征, 并对其热储量进行评价。

对于带状热储结构、控热导热构造等迄今已有较多研究和报道^[1-4], 然而关于带状热储的热储量计算方法在现有的文献中很少提及或交待不清, 本文拟在此方面进行较为详细的探讨。

1 地热田形成的环境地质条件

1.1 地形地貌与气象水文特征

该泉水流域面积约为 8.9 km², 流域内以花岗岩剥蚀地貌为主, 属于低山隆丘谷地貌, 地势呈北

收稿日期: 2012-03-12

基金项目: 广西空间信息与测绘重点实验室开放基金项目 (桂科能 1103108-28); 广西矿冶与环境科学实验中心资助项目 (KH2012ZD004)

作者简介: 廖海吉 (1987—), 女, 硕士, 研究方向: 水文地质工程地质勘察。

通讯作者: 蓝俊康, 博士, 教授, 1991026@glut.edu.cn。

引文格式: 廖海吉, 蓝俊康, 洪淑娜, 等. 汤水寨温泉带状热储特征及其热储量评价 [J]. 桂林理工大学学报, 2013, 33 (3): 449-453.

高南低、东高西低的格局。

泉群三面环山，其北、南三面为标高 280 ~ 410 m 的低山所围绕，东侧分水岭的地势较高，山体陡峻，标高多在 1 000 m 以上，最高峰（官山）的海拔高度为 1 378 m；西侧地势较低，为村民集中居住地。汤水寨的地面标高大约为 245 m，村内有汤水溪穿流而过。该溪发源于勘探区东北部的崇山峻岭之间，自东北向西南，经汤水寨蜿蜒流入里松河。

泉水汇流区域为亚热带季风气候区，一年四季分明：春季暖和湿润，阴雨连绵；夏季高温多雨；秋季天高气爽，干旱明显；冬季温和干燥。最低气温 0 ℃，最高气温 40 ℃，多年平均气温 18 ℃ 左右。区内降雨量充沛，为贺州市多雨地区之一，其多年年平均降雨量为 1 900 mm。降雨主要集中在每年 4 ~ 8 月，期间的降雨量占全年降雨量 80%。

里松镇地表河溪比较发育，主要地表河流有里松河、化水河，流经勘探区主地表河流有里松河，位于泉区西侧。河水自北而南流过，年平均流量约 15 m³/s，其支流有梁其冲、汤水寨冲、槐冲等，年平均流量 0.5 ~ 2 m³/s，无工业污染，地表水清澈见底，水质优良。

1.2 地层岩性

泉区内出露地层主要有第四系全新统冲洪积层（Q₄^{al}）、第四系坡残积层（Q₄^{dl-el}）及中生代燕山期入侵的花岗岩（J₃γ¹_{Hb}）。

第四系全新统冲洪积层（Q₄^{al}）：仅汤水寨一带的河流两岸出露，岩性为砂砾石、粘性土、粘土夹砾石层，厚 1 ~ 10 m。

第四系坡残积层（Q₄^{dl-el}）：分布于山体表面，岩性为粉土、粉质粘土、粘土、粘土夹砾石，分布厚度一般为 0 ~ 30 m。

花岗岩为里松单元（J₃γ¹_{Hb}），岩性以细—中粒斑状角闪石黑云母二长花岗岩为主，局部出露中—细粒黑云母正长花岗岩，岩石具中—细粒花岗结构、似斑状结构，主要矿物成分为角闪石、黑云母和长石，副矿物为磷灰石、褐帘石、榍石、锆石、磁铁矿等。

1.3 地质构造

因泉水流域面积小，区内发育的断裂只有北陀—里松断裂、汤水寨断裂两条。

控热断裂——北陀—里松断裂，该断裂为区

域性大断裂，呈北东走向，总长度超过 100 km。它属于压扭性断裂，倾向 305°，倾角 54°。该断裂错动了寒武、泥盆及中生代燕山期姑婆山岩体，为燕山期后断层。

导热断裂——汤水寨断裂：为北陀—里松断裂东盘次级一羽状张扭性断裂，推测长度 1.5 km，倾向北，倾角 80°。汤水寨断裂作为导水导热断裂与区域性控热的北陀—里松断裂大断裂在汤水寨一带相连接，为地热流体的运移与富集提供了通道（图 1）。

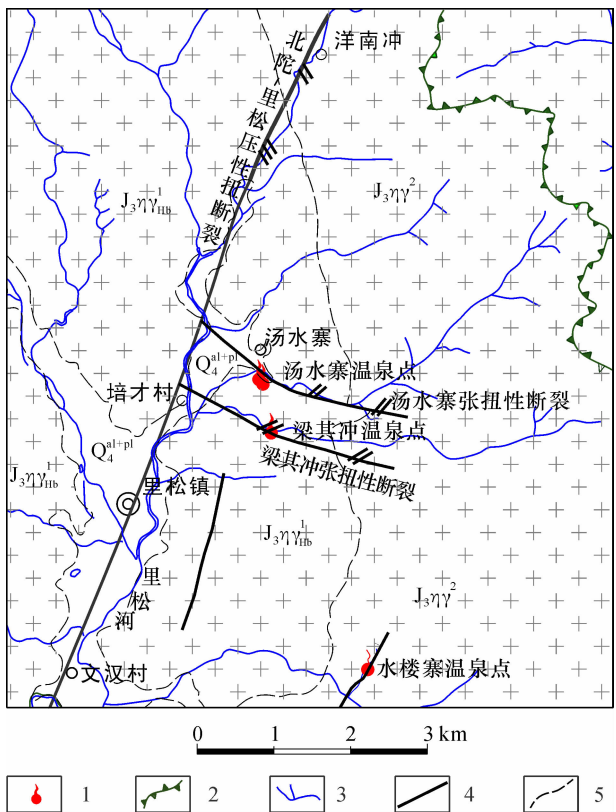


图 1 汤水寨温泉区地质图

Fig. 1 Geology map of Tangshuizhai hot spring area
Q₄^{al+pl}—第四系冲洪积层；J₃γ²—姑婆山岩体第二次侵入体中粗粒斑状二长花岗岩；J₃γ¹_{Hb}—姑婆山岩体第一次侵入体（里松岩体）细—中粒斑状角闪石黑云母二长花岗岩；1—温泉；2—地表分水岭；3—河流；4—实测性质不明断裂；5—地层界线

1.4 水文地质条件

1.4.1 地下水的赋存情况 流域内赋存 3 种类型的地下水。（1）第四系松散岩类孔隙水：分布在里松镇至汤水寨一带河流的全新统冲洪积层（Q₄^{al}）内，含水介质为砂砾石、粘土夹砾石层，厚 1 ~ 19 m。钻孔单位涌水量为 20 ~ 200 m³/（d · m），富水性为弱—中等。

(2) 花岗岩风化裂隙水:分布于花岗岩全一中风化带内。据钻探揭露,该层位于第四系全新统冲洪积层之下,岩性主要为强一中风化的斑状角闪石金云母二长石花岗岩,埋藏于(据勘探钻孔1[#]资料)地表下19.6~27.8 m。又据1:20万水文地质普查资料,该类地下水的径流模数大于3 L/(s·km²),富水性中等。

(3) 花岗岩断层带裂隙水。分布于北陀-里松断裂及汤水寨断层带内。据2[#]钻孔揭露,带内的岩性主要是断层角砾岩与强风化花岗岩组成的混合层,岩芯内常出现不规则的气孔,岩层破碎。该类水具有承压性,因其补给区地势高,故水压大,为深循环地下水。

1.4.2 地下水的补给、径流和排泄特征 地热田的地下水以大气降水补给为主,其次为接受北面基岩裂隙水的侧向补给。

因地热田的地势呈北高南低、东高西低的格局,故泉域内的地下水流向大致呈自东北向西南方向径流。

地热田地下水的排泄则主要以上升泉或潜流的形式流入汤水溪内,并最终成为里松河水的补给源。

1.5 温泉水出露特征及成因分析

1.5.1 泉水的出露特征 汤水寨5处温泉位于里松镇培才村汤水寨南侧汤水溪岸边,出露点处的地面标高约为245~260 m,东部及北侧山体陡峻,北部的分水岭山顶标高约为900~1 087 m,东侧最高峰为官山,海拔1 373.4 m,南侧山峰标高约为320~405 m,地势由东向西倾斜。

泉水点周围的地层为第四系松散冲洪积层,厚度1~5 m。基岩为中生代燕山期中粒斑状角闪石黑云母花岗岩(里松岩体)。泉水及附近表层土为松散的砂、砾石及少量碎石。在构造上,5处泉水点均位于汤水寨张扭性断裂带上。泉水从花岗岩断裂带中涌出后,经花岗岩残积层孔隙和大小不等的冲洪积物以散流的形式出露地表。

汤水寨的5处温泉均出露于近东西向的汤水溪中,出露的范围东西长110 m,南北宽3 m,面积330 m²,泉水从角砾岩与花岗岩接触部位涌出,呈120°方向条带状,以上升泉形式排出到近东西向的汤水溪中。泉口处清楚可见翻砂、冒气现象,冬季可见很浓的条带状热气柱。

1.5.2 泉水的成因分析 汤水寨附近并无火山带。根据对泉水样和附近雨水样中的放射性同位素氡检测表明,汤水寨泉水中的氡含量为13.4 Tu,而同期雨水中的氡含量<2 Tu。此数据表明:

(1) 泉水为降雨入渗补给。因为氡来自于大气中,只有雨水成因的地下水才可能含有氡。

(2) 泉水在地下的循环时间至少在10年以上。根据搜集的资料表明,贺州市近10年来雨水中的氡含量很低,均小于13.4 Tu。而补给汤水寨泉水的雨水的氡含量必定高于13.4 Tu,这只有在20世纪的八九十年代甚至更早的雨水才有那么高含量的氡^[5-7]。可见,汤水寨的泉水应是那时的雨水入渗形成的。

大气降水补给的热对流温泉的形成必须具备两个条件:一是地下水能下渗到较深的位置而被加热,二是加热了的地下水必须能够返回地表。前者要求存在通往深部的通道(如深大断裂),后者要求具有足够的水头压力(如地形反差),两者缺一不可。所以,温泉常见于大山山麓地带,那里不但有规模较大的断层,也有明显的地形反差。深部热水在上升途中会逐渐降温,若流速太慢,在到达地表前已经冷却;反之,若深循环水流速太快而未充分加热就到达地表,水温也受到一定限制,两者均不利于温泉、特别是高温温泉的形成。

本勘探区同时具备以上两个条件:首先是区内具有深大断裂(北陀-里松断裂),该断裂倾角陡、断裂发育深(错动了寒武、泥盆及中生代燕山期姑婆山岩体)、长度大(属区域性大断裂,总长度超过100 km)。汤水寨断裂作为其次级的张扭性断裂,为地下热水形成提供了深循环通道。其次是泉域内地势高差很大,东侧的分水岭标高达1 100~1 378 m,而泉水点出露点的地面标高仅250 m左右,两者之间的高差达到1 000 m,这为地下水的上升提供了足够水头压力,为深循环的顺利进行提供了条件。

此外,区内丰富的降雨量,也为地下水提供了充足的水源保障。区内花岗岩体的余热和岩体中放射性元素衰变所产生的热能,加上断裂构造活动的摩擦热量也为地下水形成提供了热源。

1.6 地热田的结构特征

(1) 热储:汤水寨温泉的热储呈带状分布,主要由燕山期花岗岩风化裂隙带及汤水寨断裂破

碎带组成。

(2) 热储盖层：本地热田为地热对流型的带状热储，无需盖层。

(3) 热流体通道：北陀－里松断裂及其次级的张扭性断裂（汤水寨断裂）。它们为大气降水补给和地下热水的上升提供了良好通道。

(4) 热源：该系统以来自深部的大地热流为热源，北陀－里松断裂、汤水寨断裂构造有利于热流的传输；其次可能还存在花岗岩体内放射性元素的蜕变热^[8-9]。

2 热储资源量评价

2.1 计算公式

根据现有参数，选择热储法计算其热储量。根据《地热资源地质勘查规范》（GB 11615—2010），热储层中储存的热量按下式计算：

$$Q_s = CA d(t_s - t_0); \tag{1}$$

$$C = \rho_s C_s (1 - \varphi) + \rho_w C_w \varphi. \tag{2}$$

式中： Q_s —热储层中储存的热量(J)； A —计算区面积(m^2)； d —热储厚度(m)； t_s —热储温度($^{\circ}\text{C}$)，为 80.82°C ； t_0 —当地多年平均气温，为 18°C ； C_s 、 C_w —热储岩石和水的平均比热容，其中热储岩石比热(取 $794 \text{ J}/(\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$)以及水的比热(取 $4180 \text{ J}/(\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$)； ρ_s —热储岩石密度(kg/m^3)，因当地岩石为花岗岩，取其密度值为 $2700 \text{ kg}/\text{m}^3$ ； ρ_w —地热水密度(kg/m^3)，取 $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$ ； φ —热储岩石的空隙度，无量纲，取 0.1 。

2.2 计算参数

2.2.1 计算区面积 A 因汤水寨温泉热储层为断层，呈带状分布，故热储量计算区的面积 A 根据汤水寨断裂带的延伸长度及宽度来确定，方法如下：

在地质图上量出该断裂带长度 3494.83 m ，再据物探探测该断层带宽度约为 15 m ，故热储带面积为 $A = 3494.83 \times 15 = 52422.45 \text{ m}^2$ 。

2.2.2 热储厚度 d 利用热矿水循环深度 2738.9 m 减去其恒温带的深度 20 m ，即求得热储厚度 $d = 2718.9 \text{ m}$ 。

恒温带的深度是根据 $2^{\#}$ 钻孔的测温曲线确定，而热矿水循环深度则是根据热储温度按地热增温率进行估算。方法如下：

根据温泉的水化学分析中偏硅酸的含量，换算为 SiO_2 的质量浓度，以估算出断层带最深处的

热储温度 t_{max} 。计算式为^[10]：

$$t_{\text{max}} = 1309 / (5.19 - \lg C_1) - 273.15. \tag{3}$$

式中： t_{max} —热储层底部水温($^{\circ}\text{C}$)； C_1 —以 H_4SiO_4 形式溶解的 SiO_2 的含量(mg/L)。

按地热增温率按 $3^{\circ}\text{C}/100 \text{ m}$ 计，式(3)的计算结果：汤水寨温泉的最深处的热储温度 t_{max} 为 108.63°C 。

2.2.3 断层带平均热储温度 t_r 断层带内的地热温度是随着深度逐渐增加的，故热储层的各个深度的温度是不相同的，地下温度呈梯形分布(图2)。为了用式(1)计算热储量，必须确定其平均热储温度 t_s 。方法如下：

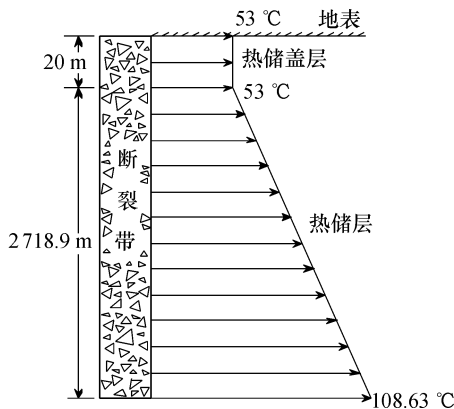


图2 汤水寨断层带温度分布示意图
Fig.2 Sketch map of temperature distribution in Tangshuizhai fault zone

根据钻探测温资料($2^{\#}$ 孔)，地表下 20 m 范围内，温度恒定为 53°C ，故把该带状热储层的顶板温度取 53°C 。热储层底部的温度则按 SiO_2 温标确定的温度(108.63°C)。因热储层的温度大致呈梯形，故可取其平均温度为 80.82°C 作为热储温度 t_s 。

2.3 计算结果

把以上参数代入式(1)、(2)，计算得到汤水寨断层的热储量为 $2.704 \times 10^{16} \text{ J}$ 。

2.4 自喷泉释放的热量与热能计算

采用以下算公式：

$$Q_r = m C_w (t_r - t_0). \tag{4}$$

式中： Q_r —自喷泉(孔)释放出的热量(J/d)； m —热水体质量(kg)，取5个泉点的日自流量(m^3/d) $\times 1000$ (按汤水寨5个泉点1个水文年监测到的日总流量平均值 $1527.22 \text{ m}^3/\text{d}$ 计，其热水体质量为 $1527.22 \times 10^3 \text{ kg}/\text{d}$)； t_r —热水温度，

取5个泉点平均水温(57.27℃);其他同前。

按天然温泉(孔)的自流量计算,汤水寨5处温泉每日释放的总热量 Q_r 为 2.50×10^{11} J/d。

3 结 论

(1) 汤水寨温泉出露处的岩性为花岗岩,而且大面积分布,断层带上实施的2个钻探孔综合成果图显示,其深部(65 m以下)为完整的花岗岩体,岩体较为完整,岩体的渗透性很差,没有形成层状储热层的条件,因此,该地热田为带状热储,是靠断层破碎带导水和储水的。

(2) 充沛的大气降水是汤水寨地热水的补给水源。补给区为周边的山区,大气降水是在地形高处(补给区)通过断层或断裂破碎带向下渗透再经过深部循环,在地下深循环过程中地下水不断吸取围岩的热量而成为温度不等的水,并在适当构造(两组断裂交汇处)出露地表形成的温泉。

(3) 汤水寨泉水中的氡含量为13.4 Tu,而同期雨水中的氡含量 <2 Tu。此数据表明,泉水是由当地20世纪八九十年代或更早年代之前的大气降雨所补给的,这说明泉水在流出之前,在地下的循环时间至少在10年以上。

(4) 该带状热储层的体积较小,储水量不大,其热储量也很有限(仅 2.704×10^{16} J),建议对其仅限于小规模的开发,即只限于利用其自流量来进行医疗药用或洗浴用水,而不应钻井进行大流量抽取利用。

研究发现,温泉型的地下热水一般只在温泉附近的有限范围内获得补给,其补给资源量和储存资源量均十分有限,一般情况下其天然补给量通常等于温泉流量。在迄今已开发利用的大多数温泉中,由于实际开采量大于温泉流量,几乎都出现了温泉流量减小直至干涸的现象,对此问题应予以足够的重视^[11]。

参考文献:

- [1] 黄奇文,郭震. 沈北地热资源分布特征及控制因素[J]. 吉林地质, 2004, 23(3): 83-89.
- [2] 多吉. 典型高温地热系统——羊八井热田基本特征[J]. 中国工程科学, 2003, 5(1): 42-46.
- [3] 任世川,杨艳华,杨晓艳. 大理洱源茈碧湖地热田热水资源评价[J]. 云南地质, 2012, 31(1): 89-92.
- [4] 郑希民,王多云,李凤杰,等. 兰州-民和断陷盆地地热地质条件分析及热储概念模型[J]. 西北地震学报, 2003, 25(3): 215-218.
- [5] 卫克勤,林瑞芬,王志祥,等. 我国天然水中氡含量的分布特征[J]. 科学通报, 1980(10): 467-470.
- [6] 任天山,赵秋芬,陈炳如,等. 中国环境水氡浓度及其变化[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2001, 21(5): 381-387.
- [7] 蔡鹏飞,涂彧. 我国环境水氡浓度的变化规律及趋势[J]. 中国辐射卫生, 2010, 19(2): 254-256.
- [8] 陈金国,周衍龙,桂承新. 湖北省咸宁市温泉地热田地热资源评价与开发利用[J]. 资源环境与工程, 2007, 21(S): 24-27.
- [9] 金秉福,张吉云,栾光忠. 胶东半岛温泉的地热特征[J]. 水文地质工程地质, 2000, (5): 31-33.
- [10] GB 11615—2010, 地热资源地质勘查规范[S].
- [11] 周训,周海燕,方斌,等. 浅析开采条件下地下热水资源的演变[J]. 地质通报, 2006, 25(4): 482-486.

Geothermal Reserves Evaluation and Characteristics of Zoned Reservoir in Tangshuizhai Spring Area

LIAO Hai-ji¹, LAN Jun-kang¹, HONG Shu-na¹, YAN Zhi-wei¹, HUANG Xi-ming²

(1. a. Guangxi Scientific Experiment Center of Mining, Metallurgy and Environment; b. College of Environmental Science and Engineering, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China; 2. Geological Environment Monitoring Station of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Guilin 541004, China)

Abstract: Granite is widely distributed around Tangshuizhai geothermal area. As the rock is integrity and poor in penetration in the depth, the geothermal field is classified as zoned reservoir. The data of Tritium concentrations in precipitation and in Tangshuizhai hot springs indicates that the spring water are of meteoric origin and the circulation time is at least ten years. As small volume, limited water storage and less geothermal reserves, the exploitation of the geothermal field should be in small scale. The hot springs can only be used for health drinking or bathing.

Key words: hot spring; geothermal reserves; evaluation; Tangshuizhai; Hezhou; Guangxi